

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-236100  
(43)Date of publication of application : 23.08.2002

(51)Int.Cl. G01N 21/913  
// G01J 3/50

(21) Application number : 2001-033087

(22) Date of filing : 09.02.2001

(71)Applicant : HITACHI LTD

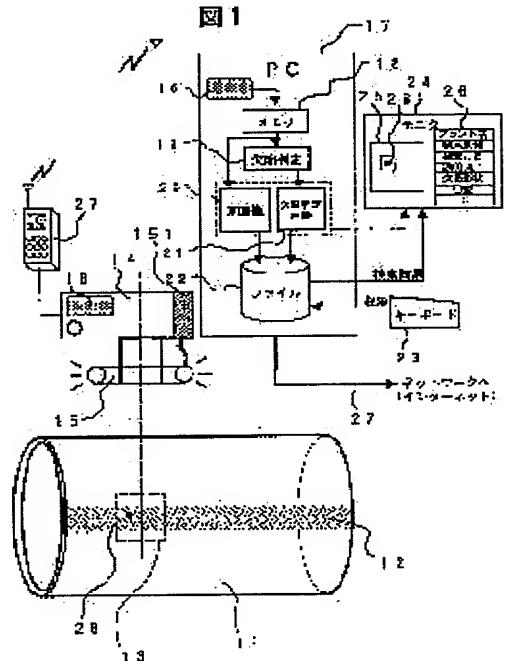
(72)Inventor : KATSUTA DAISUKE  
NOMOTO MINEO  
TAGUCHI TETSUO  
HOTTA MASAHISA  
TANAKA ISAO

(54) METHOD AND APPARATUS FOR NONDESTRUCTIVE INSPECTION

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method and an apparatus for a nondestructive inspection, which performs an image input not influenced by inspection object or environment and whose portability is superior, and files a defect-detecting and processing operation and its data, by using a cordless imaging device in a penetrant test.

**SOLUTION:** By using the imaging device, in which an illuminator is combined with a digital camera which is cordless and whose portability is superior, image is inputted without being influenced by the scale of an inspection object or environment such as an installation place or the like. When the inspection object is imaged, rectangles, circles or straight lines whose dimensions are already known or marks in a shape (a '+' shape, an L-shape, a 'cross +' shape) as a combination of straight lines area arranged inside the same screen, so as to be fetched simultaneously. By suing the marks arranged at equal intervals inside the image, the correction processing operation for magnification, position, inclination or the like is performed. The marks are input continuously according to the specimen so as to be composed, and an inspection map as a whole is created. The defect-detecting and processing operation is performed by a computer, and its processed result is filed and stored together with an inspected image. Information on the inspection object and an inspected result are used as feature quantities, and an inspection control system capable of being retrieved can be formed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 05.03.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 29.08.2006

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2006-021692

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 28.09.2006

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-236100

(P2002-236100A)

(43)公開日 平成14年8月23日 (2002.8.23)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
G 0 1 N 21/91  
// G 0 1 J 3/50

識別記号

F I  
C 0 1 N 21/91  
C 0 1 J 3/50テマコード<sup>8</sup>(参考)  
A 2 G 0 2 0  
2 G 0 5 1

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 16 頁)

(21)出願番号 特願2001-33087(P2001-33087)

(22)出願日 平成13年2月9日 (2001.2.9)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 勝田 大輔

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 野本 峰生

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

(74)代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

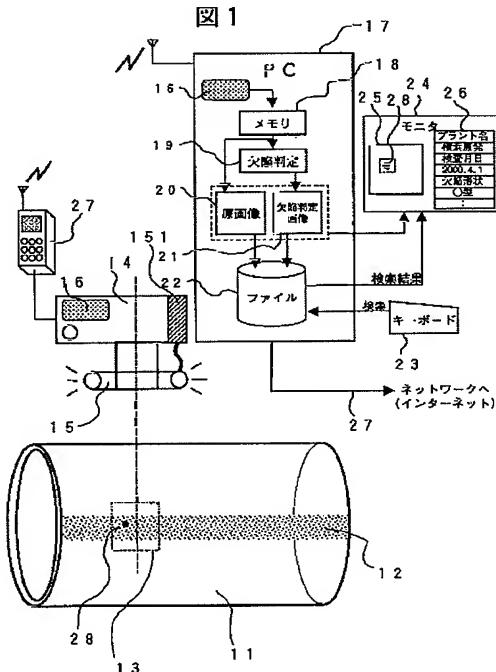
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 非破壊検査方法およびその装置

(57)【要約】

【課題】浸透探傷検査において、コードレスの撮像機器を用いることで、検査対象物や環境に左右されない可搬性に優れた画像入力を行い、欠陥検出処理とそのデータをファイリングする非破壊検査方法および装置を提供する。

【解決手段】デジタルカメラに照明装置を組み合わせたコードレスで、可搬性の優れた撮像機器を用いることによって、検査対象の規模や設置場所などの環境に影響されずに画像入力を行う。その検査対象を撮像する際、あらかじめ大きさが既知の矩形、円形、直線、直線の組合せ(十字状、L字状、クロス+字状)形状のマークを同画面内に配置して同時取り込みすることで、画像内の等間隔に配置されたマークにて、倍率、位置、傾きなどの補正処理を行う。検査対象に応じて連続的に入力をし、合成して全体の検査マップを作成する。コンピュータで欠陥検出処理を行い、その処理結果を、検査画像と共にファイリング記憶する。検査対象部の情報や検査結果を各特徴量として、検索できる検査管理体制ができる。



:(2) 002-236100 (P 2002-236100A)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】対象物の欠陥を非破壊で検査する非破壊検査方法であって、検査対象物を撮像して該検査対象物のデジタル画像を得、該デジタル画像を記憶し、該記憶した前記デジタル画像を処理して欠陥候補を含む画像を抽出し、該抽出した欠陥候補を含む画像の中から抽出した画像を該画像に付帯する情報と共に記憶することを特徴とする非破壊検査方法。

【請求項2】前記検査対象物を浸透探傷により検査することを特徴とする請求項1記載の非破壊検査方法。

【請求項3】前記検査対象物を磁粉探傷により検査することを特徴とする請求項1記載の非破壊検査方法。

【請求項4】対象物の欠陥を非破壊で検査する非破壊検査方法であって、検査対象物を撮像して該検査対象物のデジタル画像を得、該デジタル画像を通信手段を介して処理手段に入力し、該処理手段に入力した前記デジタル画像を処理して欠陥を含む画像を抽出し、該抽出した欠陥を含む画像を該画像に付帯する情報と共に画面上に表示することを特徴とする非破壊検査方法。

【請求項5】前記撮像して得たデジタル画像を記憶手段に記憶し、該記憶手段に記憶したデジタル画像を通信手段を介して処理手段に入力することを特徴とする請求項4記載の非破壊検査方法。

【請求項6】前記画像に付帯する情報が、該画像を取得した時期及び場所の情報であることを特徴とする請求項4記載の非破壊検査方法。

【請求項7】対象物の欠陥を非破壊で検査する非破壊検査方法であって、検査対象物の検査領域を複数に分割し該分割した領域ごとに撮像して前記検査対象物の複数のデジタル画像を得、該複数のデジタル画像を記憶手段に記憶し、該記憶手段に記憶した複数のデジタル画像の各デジタル画像間の傾きを補正し、該補正した各デジタル画像を用いて欠陥を検出することを特徴とする非破壊検査方法。

【請求項8】前記記憶手段に記憶した複数のデジタル画像の各デジタル画像間の傾きと倍率とを補正することを特徴とする請求項7記載の非破壊検査方法。

【請求項9】前記検出した欠陥の画像を、該欠陥の画像の特徴量の情報と共に画面上に表示することを特徴とする請求項7記載の非破壊検査方法。

【請求項10】前記検査対象物の複数のデジタル画像の各々のデジタル画像は、前記複数に分割した検査対象物の検査領域のうち隣接する分割領域の一部の画像を含むことを特徴とする請求項7記載の非破壊検査方法。

【請求項11】前記記憶手段に記憶した複数のデジタル画像を通信手段を介して送信し、該送信された複数のデジタル画像を受信し、該受信した各デジタル画像に基づいて各々のデジタル画像間の傾きを補正し、該補正した各デジタル画像を用いて欠陥を検出することを特徴とする非破壊検査方法。

【請求項12】対象物の欠陥を非破壊で検査する非破壊検査装置であって、検査対象物を撮像して該検査対象物のデジタル画像を得る撮像手段と、該撮像手段で撮像して得たデジタル画像を記憶する第1の記憶手段と、該第1の記憶手段に記憶したデジタル画像を処理して欠陥候補を抽出する欠陥候補抽出手段と、該欠陥候補抽出手段で抽出した欠陥候補の中から指定した画像を該画像を取得した時期及び場所の情報と関連付けて記憶する第2の記憶手段とを備えたことを特徴とする非破壊検査装置。

【請求項13】前記第1の記憶手段に記憶したデジタル画像を送信手段と該送信手段で送信されたデジタル画像を受信する受信手段とを更に備え、該受信手段で受信した前記デジタル画像を前記欠陥候補抽出手段で処理することを特徴とする請求項12に記載の非破壊検査装置。

【請求項14】前記第2の記憶手段に記憶した画像を該画像を取得した時期及び場所の情報と共に表示する表示手段を更に備えたことを特徴とする請求項12に記載の非破壊検査装置。

【請求項15】対象物の欠陥を非破壊で検査する非破壊検査装置であって、検査対象物の検査領域を該検査領域よりも小さい視野で撮像して前記検査対象物のデジタル画像を得る画像取得手段と、該画像取得手段の前記検査領域よりも小さい視野で前記検査領域を順次撮像して取得した前記検査領域全体に亘る複数のデジタル画像を記憶する記憶手段と、該記憶手段に記憶した前記検査領域全体に亘る複数のデジタル画像の各デジタル画像間の傾きを求めて補正する傾き補正手段と、該傾き補正手段で傾きを補正した各デジタル画像を処理して欠陥候補を抽出する欠陥候補抽出手段と、該抽出した欠陥候補の画像を表示する表示手段とを備えたことを特徴とする非破壊検査装置。

【請求項16】前記記憶手段に記憶した複数のデジタル画像の各デジタル画像間の倍率を補正する倍率補正手段を更に備えたことを特徴とする請求項15記載の非破壊検査装置。

【請求項17】前記表示手段は、前記欠陥候補の画像の中から選んだ欠陥の画像を、該欠陥の画像の特徴量の情報と共に画面上に表示することを特徴とする請求項15記載の非破壊検査装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、金属やセラミックス等の表面の割れなどの欠陥を非破壊で検査する方法に関するものであり、特に浸透探傷および磁粉探傷と称される探傷法により非破壊検査を行うための検査方法とその装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】金属やセラミックス等の表面の割れなどの欠陥の検査を目視で行う浸透探傷や磁粉探傷については、JIS W 0904やJIS Z 2343な

:(3) 002-236100 (P 2002-236100A)

どで規定されており、技量認定をもつ検査員による観察環境の条件が要求されている。

【0003】また、特開平6-118062号公報には、予め形状寸法がわかっている水車ランナの羽根を浸透探傷する方法として、カメラを固定して画像を入力し、形状寸法から欠陥位置を算出する方法が開示されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記したJISで規定されているような目視による検査を行う場合、次の様な問題点があった。

(1) 検査員の疲労により、欠陥の見逃しがあったり、検査員の個人差により、検査結果が異なる。

(2) 検査結果がレポートで「合格」などの表現でしか残らず、問題が発生し再検査などになった場合、具体的な変化などが解らない事や、再現性がなく、検査信頼性上に問題があった。また、TVカメラなどを使用する場合には

(3) 水車発電機部品である水車ランナなど、検査対象物が移動するものならば、カメラを固定して使用できるが、プラント配管の様に固定物の場合、長いカメラのケーブルを引きずりながらの検査では、検査範囲などに制限があった。

(4) TVカメラなどの撮像機器を検査箇所に移動させ、画像入力を行う場合、画像の倍率や傾きが撮像される画像毎に異なる問題があった。

(5) また、大型プラントなどの配管検査や橋梁検査では、入力画像が膨大な量になり、後に検査結果を検索して検査状態を評価する場合、多くの手間と時間を必要とし、評価作業が煩雑になることが予想される。

【0005】本発明は、可搬性に優れた装置を用いて探傷検査を行う方法およびその装置、ならびに、検査結果を検索しやすく管理する方法およびその装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明では、デジタルカメラ等の可搬性に優れたカラーバイナリ画像撮像手段と照明装置を組み合わせ、電源コードや信号ケーブル等を無くしたコードレスで、可搬性の優れた撮像機器を用いて検査対象物を撮像するようにした。

【0007】検査対象物の複数箇所を撮像して、複数箇所の画像の倍率や位置、傾きを一致させるために、カラーバイナリ画像撮像手段の画面表示装置に、あらかじめ大きさが既知の矩形、円形、直線、直線の組合せ（+字状、L字状、クロス+字状）形状等のマークAを配置し、被検査対象物にも同様のマークBを配置し、マークAとマークBを大きさや位置を概略一致させて、検査対象物を撮像する。更に撮像された画像のマークBを用いて倍率、位置、傾きなどを画像処理手段により一定値になるように

補正し、補正された複数の検査対象物画像から、欠陥候補を抽出し、該抽出した欠陥候補の画像を画面上に表示し、該表示した欠陥候補の画像の中から抽出した画像を記憶手段に記憶し、該記憶した画像を画面上に再度表示するようにした。

【0008】画像撮像手段の画像検出範囲より大きい面積を有する長尺物等についての検査結果や検出画像を、表示装置などで確認する場合でも、それぞれの検出画像の倍率、位置、傾きなどを画像処理手段により一定値になるように補正して、複数の検査対象物画像を、マークBを利用して連続的に繋ぎ合わせて、位置合わせされた状態で画像を画面上に再度表示することができるようとした。

【0009】特に浸透探傷試験方法等のように欠陥部を浸透液の色の彩度や明度で欠陥を判定する探傷法では、撮像に要する所定時間内に検査対象物を所定範囲内の色温度で照明して、照明光の色温度変化により欠陥部の色の彩度や明度に変化が生じて欠陥部を誤検出したり見逃したりするこがないないようにした。

【0010】探傷試験した検査対象物の情報に関する類似性P[欠陥の形状（円形、線状、面積、位置）、色情報（色度、最大色度、最大輝度、微分値）、大きさ（長さ、幅、縦横比）]に基づき該被検査対象物の種類を分類するとともに、欠陥候補の情報に関する類似性Q[材料、溶接検査有無、現地名、工場名、プラント名、建屋名、配管系統名、配管番号、配管口径、肉厚、実施時期など]に基づき、該欠陥候補の種類を分類し、該分類された結果に基づいて被検査対象物および欠陥候補に関する特徴量を抽出して、該抽出された被検査対象物および欠陥候補に関する特徴量をフィードバックして、類似欠陥の表示や類似試験部署の表示や検査、あるいは検索等を容易に行うことができる。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例を、図面を用いて説明する。

【0012】図1は、本発明による浸透探傷検査装置の一例である。

【0013】検査対象11は金属配管部品で、図中水平方向に溶接痕12が存在する溶接部材の検査の一例である。浸透探傷検査を行う場合には、この溶接痕12を含む金属配管部品の表面に赤色溶剤を塗布し、数分後に取り除く。しかし、赤色溶剤を塗布した領域にクラック等の欠陥が存在する場合には、このクラック等の欠陥に入り込んだ赤色溶剤は取り除かれず、そのまま残っている。次に、塗布した赤色溶剤を取り除いた金属配管部品の表面の領域に、白色の現像剤を塗布する。このとき、赤色溶剤を塗布した領域にクラック等の欠陥が存在すると、除去されずに残っていた赤色溶剤が、塗布した現像剤の毛細管現象により欠陥部から現像剤表面ににじみ出てきて、現像剤を赤く変色させる。欠陥の無い溶接痕1

## (4) 002-236100 (P2002-236100A)

2の部分は、白色（現像剤の色）のままである。

【0014】この溶接痕12を含む検査領域13をLEDリングライト15で照明してデジタルカメラ14で撮像し、画像を入力する。このデジタルカメラ14には、リングライト用バッテリー151が内蔵されている。LEDリングライト15はデジタルカメラ14と一体化になっており、常に同じ照明条件下で撮像して画像を入力することが可能である。

【0015】撮影した画像データはメモリーカードなどの記録媒体16に記録される。この記録媒体16をデジタルカメラ14から取り出してコンピュータ17にセットし、記録した画像データを読み出してハードディスクなどの大型メモリ18に格納することが可能である。

【0016】また、デジタルカメラ14をデータ通信用端末（携帯電話など）27に接続してコンピュータ17に画像を送信することにより、デジタルカメラ14で撮像した画像を通信により直接コンピュータ17に格納することができる。例えば、コンピュータ17は工場の管理所に置き、検査員がデジタルカメラ14一式を持って管理所から離れた検査現場（配管構造物、橋梁等）に出来かけ、欠陥候補を撮像して画像入力を行い、記録媒体16あるいはデータ通信用端末27によりデータをコンピュータ17へ入力又は転送する。

【0017】欠陥判定を行う画像処理はコンピュータ17が行い、画像の入力は記録媒体16やデータ通信用端末27等を用いることによりデジタルカメラ14とコンピュータ17を分離することができ、機動性・可搬性がきわめて高い検査システムとなる。

【0018】コンピュータ17ではメモリ18に記録された画像に対して画像処理を施し（後に説明する）、欠陥判定19を行う。この処理によって抽出した欠陥を原画像20に反映させ、欠陥判定画像21を作成する。画像データ25はカラー モニタ24にて確認できる。欠陥判定処理19にて検出した欠陥の形状情報、色情報、大きさ情報は、原画像20、欠陥判定画像21と共にファイル22にファイルリングされる。また、各欠陥情報26はカラー モニタ24上に画像25とともに表示される。また、欠陥情報をキーワードに外部キーボード23より検索命令を受ければ、関連する情報をピックアップし、検索結果として情報26並びに画像25をカラー モニタ24に表示する。

【0019】コンピュータ17は通信ケーブル27によってネットワークに接続され、他のコンピュータからも、本コンピュータ17が有するファイル22情報を検索できる。

【0020】上記図1の構成における本実施例で使用しているデジタルカメラ14は

- (1) 撮像素子が2次元CCDで2次元領域を一括検出できる。
- (2) 撮像レンズが単焦点レンズ やズームレンズである

り結像光学系である。

(3) 焦点合わせ機能が自動である。

(4) ホワイトバランス機能がある。

(5) 撮像状態を観察するモニタ機能がある。

(6) ストロボ機能がある。

(7) 電源が電池（アルカリ電池）又は充電用電池である。

(8) 記録媒体がカード型の記録媒体であり、記録された画像データをコンピューターにフローッピーディスクドライブ等で入力できる。

(9) 記録方式がJPEGやTIFF等の画像ファイル形式である。等の基本機能を備えており、本実施例においては画像撮像手段として用いている。

【0021】通常デジタルカメラ14にはストロボが備えてあり、暗い環境ではストロボ発光して画像を撮像する。しかし、一般的にはストロボ発光での撮像ではホワイトバランス（撮像状態の光源（色温度）に合わせて、白い物が白く写る機能）が自動設定される場合があり、撮像データから光源の状態を推定して、それに応じた補正を自動的に加えるため、撮像して得られた画像の色が、対象物の色と異なることがある。このため、ホワイトバランスが手動で設定できる機能を有したデジタルカメラで撮像出されれば、撮影対象物の基準となる白い物をあらかじめ撮像しておき、その結果から光源の色温度を逆算して、これ以後に撮像するものの色補正に反映させることが出るため、撮像して得られた画像の色が、対象物の色を再現することができる。

【0022】図2に、本発明による高精度な色再現の実現が可能なデジタルカメラシステム200を示す。このデジタルカメラシステム200は、デジタルカメラ本体201に照明光源としてとしてLEDリングライト202を取り付け、光源の色温度に対応したホワイトバランスを設定して、画像検出をできるようにしたのである。デジタルカメラ本体201のレンズの外周に取付けたLEDリングライト202には拡散板が設けられており、被撮像物に照明光が一様に照射され、照度分布も一様になるようになっている。LEDリングライト202の電源は、上記デジタルカメラ本体201の電源と同様に、電池（アルカリ電池等）又は充電用電池等を用いたバッテリー203で構成されており、電池の通電のON/OFF機能も有している。

【0023】図2に示したデジタルカメラシステム200は、デジタルカメラ本体201、LEDリングライト202、バッテリー203を一体にして、持ち運びも容易な構造をしてある。試作した図2に示したような構造のデジタルカメラシステム200ではバッテリー203の充電池に単1ニッケルカドミウム蓄電池8本を用いたが、この場合、デジタルカメラシステム200を5kg以下の重量で構成することができ、容易に持ち運びできることを確認した。図2に示したデジタルカメラシステ

:(5) 002-236100 (P2002-236100A)

ム200では、照明光源にLEDリングライトを用いた場合について説明しているが、光源としてはこのほかに、蛍光管、白熱灯、ハロゲンファイバー光源、陰極管等を用いても同様の効果が得られる。

【0024】図3は防水、防塵カバーに収納して撮像する場合を示す。デジタルカメラのストロボ機能を用いて撮像する場合や図2の実施例の撮像装置を用いる場合、撮像装置単体301を防水、防塵カバー302で覆つて、撮像することにより、雨中や降雪時あるいは湿気や塵のある環境化でも容易に撮像できる効果がある。

【0025】図3に示した実施例では、防水、防塵カバー302の材質を透明樹脂にし、前カバー302、後カバー303の合わせ部をOリング304でシールして、ネジ305で固定することにより実現できる。カメラのシャッタ部306付近のカバー材質を軟質部材307にすることにより、シャッター、その他電源スイッチの操作は容易に出来る。図3の実施例で示したように防水、防塵カバーに収納して撮像する機能を有することにより、天候に左右されることなく検査できる効果がある。

【0026】図4は、配管部材を検査する場合の一例として、配管41に水平方向に溶接痕42が存在する場合の例を示す。検査の手順としては、まず最初のステップとして、水平方向の溶接痕42全領域を撮像する。図4に示した配管部材のような長尺物の場合、カメラの解像度と検出する欠陥の最小寸法との関係から、配管部材の検査対象領域全体をカメラの一つの視野に入れることは難しい場合がある。そこで図4に示すような場合には、例えばウインド43をカメラの視野範囲として、撮像領域を順次移動しながら検査漏れがない様にそれぞれの画像間は多少重複させて7回撮像することにより、溶接痕42の全領域を撮像することが可能。

【0027】図4に示すように、配管部材のような長尺物を図2に示したデジタルカメラシステム200を用いて撮像領域を分割しそれぞれの分割領域を順次撮像して得た画像をつなぎ合わせて検査する場合、デジタルカメラ本体201に備えた自動焦点合わせ機能により、ピントの合った画像を撮像することができる。しかし、本発明によるデジタルカメラシステム200は、検査員が手で持って対象物に対して非接触で撮像する構成であるため、分割した領域を順次撮像する場合に、各分割領域を全く同じ条件で撮像することは難しく、実際に得られる画像では、各画像間で倍率や回転、傾きがそれぞれに多少異なってしまう。

【0028】デジタルカメラシステム200を用いて図4に示す検査対象物を撮像して取込んだ画像を、図5に示す。この図において、デジタルカメラシステム200を用いて撮像して得た画像51a～51gは、溶接痕42の溶接水平方向に対して、回転していたり、上下方向に位置ずれが生じたり、倍率がずれていたりしており、同じ欠陥でも画像間の相対位置がずれてしまうことがある。

り、これら回転、水平、垂直方向、倍率などの補正が必要である。そこで、撮像の次のステップとして、撮像して得た複数の画像に対して、各画像の回転、水平、垂直方向、倍率などの補正を行う。

【0029】この補正の処理手順を図6に示す。(a)は入力画像の図であって、検査対象物に位置合わせ用マーク61a、61b、61cを設け、これら3つのマーク全てが一つの視野の中に入るようにして撮像した場合の画像を示す。CCDの中心を通る水平、垂直線を水平基準線64と垂直基準線65とすると、(a)では、水平基準線64とマーク61aと61cの距離YR、YUから図6垂直方向の位置ずれ、垂直基準線65とマーク61aと61bの距離XR、XLから水平方向の位置ずれ、YL、YRから回転角θのずれ量が判別でき、それぞれ、YR=YU、XR=XL、YR=YLになるよう補正することにより位置合わせを行うことができる。

【0030】マーク61a、61bから基準交差点を中点として、θ傾けた位置に置き換える。θを全画素について変換したのが傾き補正後図4(b)である。次ぎにYR=YU、XR=XLになるよう補正したのが図4(c)である。

【0031】この処理を先に入力した図4の7画像について位置補正を行うことで、欠陥候補の絶対位置を検出することができる。

【0032】さらに高精度に位置補正をするために、倍率補正を行う。図7はその実施例を示したものである。検査対象の溶接痕71の近くに、マークB1とB2及び等間隔に配置されたラインBh、Bvを配しておく。一方、デジタルカメラシステム200にモニター72を接続し、このモニター72にはマークA1、A2、A3を付けておく。A1とA2の間隔は入力画像上で、B1とB2の間隔と同じになる位置に設定する。モニター72で、このA1とB1、A2とB2がほぼ一致するようにデジタルカメラシステム200の位置を調整し、検査対象を撮像して画像を取込む。この取込んだ画像は、手ぶれなどで若干の倍率のずれが生ずる場合があるので、モニター72上でマークA1とマークB1、マークA2とマークB2が最もマッチングする様に拡大・縮小処理を行う。

【0033】この拡大・縮小処理については、例えば文献「画像工学」(南敏、中村納著コロナ社)の、4.1.4幾何学的補正や、あるいは文献「工業用画像処理」(江尻正員著 昭晃堂社)の3.3拡大・縮小・回転演算の節で論じられている手法により容易に実現することが可能である。このようにマークA1～A3、マークB1、B2、Bh、Bvを用いて位置合わせ、傾き補正、倍率補正しながら画像入力して、更に該マークを用いて画像処理により精度補正することにより、複数の画像に対して高精度な位置合わせや、傾き補正、倍率補正が実現でき、微小な欠陥や検出画像の繋ぎ合わせ目に生

!(6) 002-236100 (P2002-236100A)

じている欠陥についても見逃しが無く検査できる効果がある。本実施例では位置合わせ後倍率補正を行っているが、倍率合わせ後詳細な位置補正を実施できることは明らかである。

【0034】このように補正が行われた画像を用いて、図8および図9に示すような方法で欠陥を検出することになるが、その前に、上記に説明したような複数の画像の各画像毎の倍率、傾き、位置補正の処理を行った後に、それらの複数の画像を重ね合わせて連続画像を作成する手順を、図10、図11を用いて説明する。図10は配管の長手方向に溶接されている場合、図11は円周方向に溶接されている場合について、それぞれ図示する。

【0035】図10(i)の配管101の溶接は縦方向に行われ、溶接痕1010に沿って等間隔にマーク106, 107, 108, 1010を配置した。撮像機器の撮像範囲が30mmの時、入力画像は図10(ii)の103, 104, 105である。それぞれ、傾き、位置ずれがある為、前記した第6図で説明した手法などによって、それぞれ、倍率、傾き、位置補正を行う。連続画像は図10(iii)のごとく、等間隔に配置されたマークを基準にして重ね合わせたものである。これにて、配管101の欠陥マップが作成できる。

【0036】図11は配管の円周方向の溶接を浸透探傷検査した例である。図10の処理と同様に、等間隔にマーク112～115を配置し、溶接痕116と共に3枚の画像を撮像して、それぞれについて倍率、傾き、位置補正を行い、重ね合わせて、図11(iii)の連続画像を作成する。円周方向の画像は検査面が大きく曲がっているため、画像中央と両端の倍率が違ってくるので、細かくマーク112～115を付け、図11(iii)の連続画像作成ではマーク基準で重ね合わせている図10、図11の様に画像を重ね合わせて、1本の配管の全溶接面の検査結果を1つの連続した画像情報として、コンピュータに格納してファイリングする。上記図10、図11で示した実施例によれば、連続的に溶接された部分の画像を高精度に繋ぎ合わせて入力画像や欠陥判定画像として、表示装置で確認したり、溶接部全体を評価できる効果がある。

【0037】次に、カラー画像処理の基準白色の設定方法の例を、図8を用いて説明する。配管81などの溶接痕82に現像剤83を塗布する。すると、検査面は現像剤が乾いて白色になり、欠陥部は浸透液が染み出して赤色になる。この、欠陥の無い状態の現像剤の白色を基準白とする。画像処理での自動基準設定は、以下の様になる。検査面を撮像したデジタルカメラ84の出力画像85に検査面を中心としたウインドウ86を設定する。このウインドウ86内の輝度分布87を横軸に明るさ、縦軸に頻度数で表示すると、ある明るさ点をピーク88とした分布となる。このピーク88が白色の輝度値である。

【0038】ウインドウ86を十分に広い領域に設定すれば、ウインドウ内に欠陥の赤色があった場合でも、圧倒的に多い白色点がピーク88にあらわれる。この値をR, G, Bの三色について求め、x y色度変換したものが色度図89の点kである。ここでは、色度図89の+点kはx=0.31, y=0.32となる。欠陥点に滲み出る浸透液の赤色も色度図89上にプロットされる。以降の欠陥検出処理では、この、二点の差の色差を用いて行う。

【0039】図9にカラー画像を用いた欠陥検出の例を示す。図9(a)は、溶接部に欠陥がある配管に浸透探傷検査を行った場合の画像である。入力画像91は、溶接痕92周辺に浸透液を塗布して20分程度放置した後、浸透液を拭き取り、現像剤を塗布したものである。その結果、現像剤の白色93中に赤色の浸透液が染み出した欠陥候補94が数点、顕在化される。

【0040】この欠陥候補の中から真の欠陥を検出する方法として、色差を用いる。カラー画像である図9(a)の画素毎のRGBデータからx y色度を算出し、x y色度図の図9(b)にプロットする。現像剤の白は、先の図8で示した様に、白色96のk点となる。欠陥点94は赤色のx印97になる。色差は(x2-x1)、(y2-y1)となり、このx1～x2, y1～y2の間にしきい値を設定することによって、欠陥94を画像91から抽出する事ができる。

【0041】以下に撮像したカラー画像から欠陥を抽出する方法について、図12～図20を用いて更に詳しく説明する。

【0042】図12に処理のフローを示す。先ず、溶接部を撮像して得られたR, G, Bカラー画像データから、各画素のx y色度値を求めるところの色度変換(1251)を行う。次に、現像液の基準白色色度を算出するところの、基準白色の決定(1252)を行い、基準白色に対する画像上の各位置での色相・色差算出(1253)する。このあと、欠陥候補領域抽出(1254)をするため、特定範囲の色相・色差にある領域を2値化により抽出する。

【0043】真の欠陥は、輪郭部がはっきりしており、疑似欠陥は、輪郭部が不鮮明なことが多い。このため、色差画像の微分(1255)を行い、抽出した欠陥候補領域の輪郭部の色差変化割合を求める。次に、欠陥候補領域の面積、縦横比、長さなどの形状計測(1256)を行う。このあと、欠陥の検出(1257)で、色差変化割合が大きく、かつ、規定以上の長さ、面積のある領域のみを真の欠陥として検出する。さらに、検査結果をカラーモニタ24に表示し、検査員による欠陥の確認をしたあと、画像データや形状データ、位置情報などを記憶装置にファイリングして記憶しておいたりに、またはプリントアウトしハードコピーとして保存する(1258)。

【0044】色による検査では、色を定量的に評価する

(7) 002-236100 (P2002-236100A)

必要がある。そのため、色度変換(1251)のステップでは、撮像したカラー画像のRGBデータを、CIE(国際照明委員会)の規定する色度x、y、輝度Yへ変換し、これらを用いて検査を行う。色度x、yを2次元直交座標で表現したものを色度図と呼び、図13に示す。色度図では、白を中心にしてその回りに各色が配置され、各色は、白から離れるほど鮮やかになる。以後、色合いを色相、各色の鮮やかさを彩度、色度図上での2つの色度値間の距離を色差と呼ぶ。浸透探傷像の色度範囲130を図13に示す。

【0045】本方法では、RGBデータから色度x、y、輝度Yへの変換を高精度に行うために、あらかじめ

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

図14に示すようなカメラ校正用色票1471を使ってカラーキャリブレーションを行う。その処理の流れを図15に示す。カメラ校正用色票1471には、3色以上の色が塗られている。これをデジタルカメラ84で撮像し(1581)、各色のRGB値を算出する(1582)。また、色彩計1472により、これらの色度x、y及び輝度Yを計測する(1583)。ここで、RGB値とxyY値との関係は、(数1)(数2)で表される。

【0046】

【数1】

$$\dots \dots \text{ (数1)}$$

ここで、X、Y、Zは、三刺激値と呼ばれる。

【0047】

$$\text{色度 : } x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad \text{輝度 : } Y \quad \dots \dots \text{ (数2)}$$

よって、カメラから取り込んだ各色のRGB値を(数1)(数2)に代入してxyY値を算出し、この値が色彩計で計測したxyY値と一致するような $a_{11} \sim a_{33}$ を求めれば、カメラ固有の変換パラメータを求めることがある。未知のパラメータは9個なので、最低3色のRGB値( $R_1 G_1 B_1 \sim R_3 G_3 B_3$ )とそれに対応す

$$X = Y \times \frac{x}{y} \quad , \quad Y = Y \quad , \quad Z = Y \times \frac{(1-x-y)}{y} \quad \dots \dots \text{ (数3)}$$

色彩計の3色のxyY値を(数3)に代入し、XYZを求め、(数1)に代入する。

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{pmatrix}$$

これにより、カメラ固有の変換パラメータ $a_{11} \sim a_{33}$ を求め(1584)、カメラのRGB値から色彩計の値と等しいxyY値を求めることが可能となる。

【0051】浸透探傷像検査に用いるカメラ校正用色票1471の形態としては、R、G、B、Wの基準色と現像液の白色から浸透液の赤色に変化する数種の色が配されているとカラーキャリブレーションに好適である。

【0052】図13の浸透探傷像の色度範囲130内より、白色から赤色に変化する現像液に近い白色、欠陥候補のピンク色、欠陥に相当する赤色を段階的に選定し、色彩計1472にてxyY値を計測しておき、その値と、先に作成した、使用するカメラ固有のxyY値の変換パラメータから各xyY値を算出し比べる事によって、変換パラメータの再現性を確認できる。浸透探傷像検査作業時に定期的に(好ましくは検査作業前に)、図

る色彩計のxyY値( $x_1 y_1 Y_1 \sim x_3 y_3 Y_3$ )でパラメータは算出できる。

【0048】(数2)よりXYZはxyY値から下記の(数3)で算出できるので、

【0049】

【数3】

$$(i = 1, 2, 3) \quad \dots \dots \text{ (数4)}$$

【0050】

【数4】

14の色票1471を用いて色再現性を確認する事によって、容易に信頼性のある高精度な色度測定を実現出来る効果がある。

【0053】また、上記色票の基準色は照明光源の色温度で異なるので、光源に応じてキャリブレーション用の色度を選定する必要がある。

【0054】また、検査対象の表面状態の色合い(ステンレスなどの金属面や鉄系の黒皮状態の黒っぽい表面、あるいは錆びている茶色っぽい表面等)の違いによって、白色から赤色までの色度が異なる。このため白色、ピンク、赤色での補間色の数を多くして、カラーキャリブレーションをするほどxyYへの変換を高精度にすることが可能である。

【0055】さらに現像液や浸透液の色度に応じての赤、緑、青、白の基準色および、白色から赤色に変化す

!(8) 002-236100 (P2002-236100A)

る色度を選定することが好ましい。

【0056】キャリブレーションによりあらかじめ算出したカメラ固有の変換パラメータを用いて、カメラから得られたRGB値をx y Y値に色度変換し、画像中の色度分布を算出した後、図12の1252のステップでは、画像中から現像液の色度値、すなわち、欠陥でない部分の色度を基準値として算出する。まず、画像中の各画素の色度x、yを調べ、図16 (a) のグラフのように各x、y値をとる画素数をカウントし、色度の2次元度数分布を作る。そして、画像中で最も画素数の多いx色度値(図16 (b))とy色度値(図16 (c))を求める。画像中の大部分が欠陥ではない部分

$$\text{色相} : \theta_{ij} = \tan^{-1} \left( \frac{y_{ij} - y_c}{x_{ij} - x_c} \right) \quad \dots \dots \text{ (数 5)}$$

また、図18に示すように位置(i, j)での色差を、色度図上での基準色からの距離で算出する。その算出式を(数6)に示す。

$$\text{色差} : d_{ij} = \sqrt{(x_{ij} - x_c)^2 + (y_{ij} - y_c)^2} \quad \dots \dots \text{ (数 6)}$$

以上のように算出した基準白色に対する画像の各位置での色相・色差より、図19に示すように、色相で欠陥として検出したい範囲を限定し(図では、色相θが、 $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ の範囲)、色差で基準白色との色の鮮やかさの違いの程度を限定する(図では、色差dが、 $d_1 \leq d \leq d_2$ の範囲)。そしてこの範囲内にある部分を欠陥候補領域として抽出する。

【0061】このように色相と色差で範囲を限定して求めた欠陥候補の中には、欠陥として検出する必要のないものもある。例えば、基準白色に対し、徐々に色度が変化していくようなものは、欠陥ではなく、輪郭がはっきりとした領域が欠陥である。

【0062】そこで、このように周囲の色に対する色の変化がなだらかなものは正常部あるいは疑似欠陥と見なし、変化が急激なもののみを欠陥と見なす。

【0063】図12の1255のステップでは、欠陥候補領域について、基準白色との色差の変化量を求め、その値がある一定値以上のものだけを欠陥とする。

【0064】図20を用いて説明すると、(a)には1254のステップで抽出された欠陥候補領域2031が示されている。(b)の2033は(a)の2032上の基準白色との色差グラフである。更に、2032上の各位置での色差2033の変化量、すなわち、2033を微分したものが、(d)の色差微分分布2034である。このように基準白色との色差の変化量が小さいものは、微分値も小さくなる。ここで、(d)に示すように、微分値がある一定値2035より大きいもののみを欠陥領域とする。その結果、(c)のように色差が大きく、かつ色差変化量が大きい、すなわち輪郭が鮮明な欠陥領域2036のみが検出される。

であることから、2次元度数分布のピーク値のx、y色度値が基準白色のx y色度値となる。

【0057】次に、図12の1253のステップでは、この基準白色に対する画像上の各位置での色相、色差を算出する。

【0058】基準白色の色度を(x<sub>c</sub>、y<sub>c</sub>)、画像上の位置(i, j)での色度を(x<sub>ij</sub>、y<sub>ij</sub>)とすると、図17に示すように位置(i, j)での色相を、色度図上での基準色に対する向きで算出する。その算出式を(数5)に示す。

【0059】

【数5】

【0060】

【数6】

【0065】次に、しきい値2035の決定方法を図21を用いて説明する。図21(a)のグラフは、縦軸を色相と色差により抽出された各欠陥候補領域内の色差の最大値、横軸を各欠陥領域の輪郭部分の色差微分値の最大値にとり、真の欠陥の値を×で、疑似欠陥の値を○でプロットしてある。また、2141aは各色差微分値の度数分布、2142aは、色差値の度数分布である。欠陥と疑似欠陥が明らかに分かれている場合には合否判定線2144aは、2141aと2142aの度数分布の谷のピーク通り、プロットされた点の慣性主軸2143aに垂直な直線2144aとする。また、欠陥と疑似欠陥が分離していない場合、すなわち、度数分布の谷のピークがない場合には、判定線を2144bとすることで、全ての欠陥候補領域を欠陥として検出し、見落とし、見逃しがないようにすることができる。

【0066】次に、画像ファーリングの形態の一例を、図22に例を示す。入力画像2221には欠陥2222があり、マーク2223が同画像内に表示されている。検出欠陥の詳細データ2224には特徴量として、長さ、幅、縦横比、彩度、色エッジ(彩度の微分値)などを表示した。これらの数値はファイルRとして、画像2221に付随されてコンピュータに記録する。ファイル内の数値項目は、他の画像との類似性としてピックアップすることが可能である。例えば、ファイルSの画像2225、詳細データ2226は、ファイルRの6ヶ月後に再検査したものであり、ここでは、検査位置という類似性項目で表示したものである。

【0067】材料、溶接検査有無、現地名、工場名、プラント名、建屋名、配管系統名、配管番号、配管口径、肉厚、実施時期などの情報を類似性として、ファイリン

:(9) 002-236100 (P2002-236100A)

グの形態の一例を図23に示す。図23 (B) は検査場所A～Pを示している。図23 (b) は設備の部位を表している。工場AにはB1, B2, B3の設備がある事を示している。さらに図23 (c) では配管系統を示している。図は簡単にモデル化したもので、実際は、複雑なものになる。図23 (c) の配管には3箇所C1, C2, C3を溶接されている。溶接部C2に浸透探傷検査を行った結果を図23 (d) に示す。実施例の検査結果では、□1, □2、二つの欠陥が認められた場合を示している。この画像データを図23 (a) ～ (d) を項目毎にファイリングした例が図23 (e) である。このファイルから、例えば検査日平成11年9月(図中H11/9)のP画像と平成12年3月(図中H12/3)のQ画像データをモニタ表示した一例を、図23 (f) に示す。

【0068】本実施例では、類似性P、類似性Qを用いた画像ファイル形態と検索内容を、このように日本国内のプラントから検索表示する一実施例で示しているが、国内にとどまることなく、世界各国でのプラント設備についても、同様な検査結果の検索や表示により、欠陥の形状比較や進行状態をすみやかに確認できるため、検査の信頼性を著しく向上できる効果がある。

【0069】次に、連続した画像情報を繋ぎ合わせて立体的に表示する手段の一例を図24に示す。

【0070】図24は、ディスプレイ2440上に配管2441の詳細な寸法を基に、立体形状に再構成して全体像を3次元表示し、溶接痕2442の欠陥2443, 2445とマーク2444, 2446も同時に表示した実施例である。この画像をコンピュータのキーボードあるいはマウスの操作にて回転や傾き角度を可変表示することによって、欠陥の状況をより分かり易く表示することができる。このように欠陥の状況の把握を容易にすることにより、実使用状態で応力が生じやすい箇所や、亀裂が入りやすい箇所を容易に判別できるようになり、材料や構造設計にフィードバックできるという効果がある。

【0071】上記した実施例においては、浸透探傷検査の場合について説明したが、検査対象物が磁性体の場合には、蛍光磁粉の入った溶液を検査対象物に塗布して検査対象物を磁化し、紫外線を照射して磁束が集中している欠陥部からの蛍光の発光を検出して検査を行う、磁粉探傷検査を行う場合にも本発明を適用することができる。その場合、図2に示したデジタルカメラシステム200の構成において、LEDリングライト202の代わりに紫外光を発生させる光源を用い、デジタルカメラ201は、外乱光の影響を受けずに欠陥か所で発生する蛍光を効率よく検出するのに適した構成、例えば蛍光検出用のフィルタを備えた構成にすればよい。

【0072】

【発明の効果】本発明によれば、従来の次の様な問題点

を解決できる。

(1) 目視検査の場合、検査員の個人差により検査結果が異なるが、デジタルカメラ等の撮像機器で画像を入力する為、定量的で安定した評価を行うことができる。

(2) 検査結果のレポートに入力画像及び、コンピュータでの欠陥検査処理結果を加えることにより、信頼性のあるデータを残せることができる。

(3) デジタルカメラなどコードレスで使用できる撮像機器に、LEDリング照明などのバッテリー駆動の照明装置を組み合わせる事によって、コンピュータへの映像信号ケーブルや電源ケーブルが不要となり、可搬性が向上し、あらゆる場所、環境での浸透探傷検査が可能となつた。

(4) デジタルカメラなどの撮像機器で画像入力した場合、発生しやすい、画像倍率の違いや傾きなどを、マークや等間隔に配置されたラインを画像内に配置することによって、オフラインで画像補正することができる。

(5) また、長大な配管の検査などでは、画像を一本の配管に重ね合わせ、検査対象の情報や検査データを含めてファイリングすることにより、それらを特徴量としたキーワードで検査結果を検索することができる。

(6) さらに、本特許による浸透探傷検査方法は、撮像機器の使用環境を限定しない為、配管設備の他、橋梁や車両の車軸などの負荷のかかるところ、又は圧力機器、マイクロクラックなどの検査にも、有効である。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明を用いた配管溶接の浸透探傷検査装置の一例を示す概略構成図である。

【図2】図2は、本発明によるデジタルカメラにLEDリング照明を取り付けた、コードレスの画像入力装置の斜視図である。

【図3】図3は、図2の画像入力装置に防水、防塵用カバーを施したものである。

【図4】図4は、図2の画像入力装置で、配管の浸透探傷検査を行うモデル図で、画像入力、7枚で配管1本の検査となることを示している。

【図5】図5は、図4で入力した7枚の画像を重ね合わせて、配管の被検査面を1枚の画像に再構築したものである。

【図6】図6は、本発明による入力画像の、傾き、位置ずれ補正方法を示した画像処理図である。

【図7】図7は、本発明による、等間隔に配置されたマークを同時撮像して、倍率補正処理を行った補正処理画像である。

【図8】図8は、本発明による、現像剤を塗布した検査対象の入力画像から基準白の色度を決定するアルゴリズムを示したものである。

【図9】図9は、図8の画像処理アルゴリズムを用いて、カラー画像の欠陥検出処理の実施例を示したものである。

(10) 02-236100 (P 2002-236100A)

【図10】図10は、溶接部が配管の長手方向の場合の、等間隔に配置されたマークの位置と撮像例、及び重ね合わせ処理の概念図である。

【図11】図11は、溶接部が円周方向の場合での、図10と同様の図である。

【図12】図12は、本発明による浸透探傷における自動検査方法の流れを示すフロー図である。

【図13】図13は、x,y色度図を示す。

【図14】図14は、カメラ校正用の構成を示す正面図である。

【図15】図15は、カメラ校正処理の流れを示すフロー図である。

【図16】図16は、色差画像から基準白色度を求める方法を示す図である。

【図17】図17は、色度図上で色相を算出する方法を説明する図である。

【図18】図18は、色度図上で色差を算出する方法を説明する図である。

【図19】図19は、図17で求めた色相と図18で求めた色差から欠陥候補領域を求める方法を示す図である。

【図20】図20は、図19で求めた欠陥候補領域か

ら疑似欠陥を判別して欠陥領域を求める方法を示す図である。

【図21】図21は、図20に示した欠陥候補領域から疑似欠陥を判別して欠陥領域を求めるためのしきい値135を求める方法を説明する図である。

【図22】図22は、データのファイル方式の一例で、検出欠陥のデータの特徴量を類似性とした画像ファイル形態である。

【図23】図23は、データのファイル方式の一例で、工場名や配管系統名、実施時期などの情報を類似性とした画像ファイル形態である。

【図24】図24は、浸透探傷検査の結果を、モニタ上に3次元表示した例である。

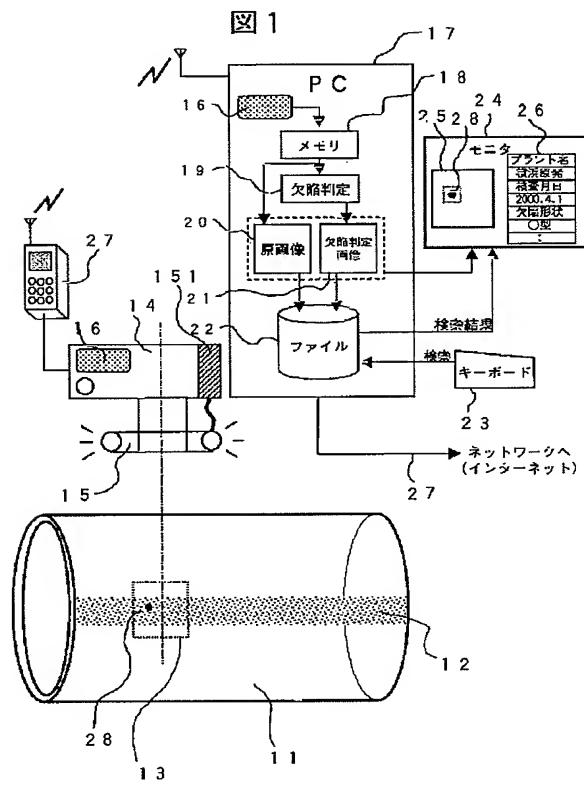
#### 【符号の説明】

1 1…試験体 1 2…検査対象である溶接痕 1 3…画像検査エリア

1 4…デジタルカメラ 1 5…リング照明 1 6…記憶媒体 1 7…コンピュータ 2 3…キーボード

2 4…モニタ 2 7…通信用端末 6 1 a～6 1 c…傾き、位置補正用基準マーク 8 9…x,y色度表

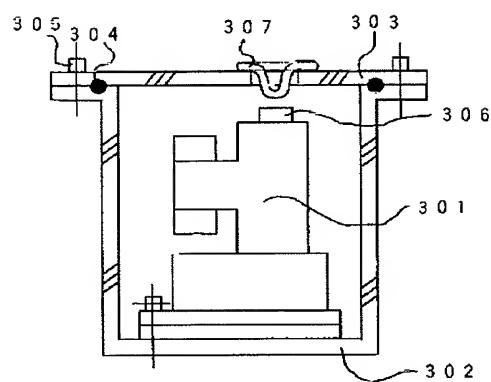
【図1】



(単1) 02-236100 (P 2002-236100A)

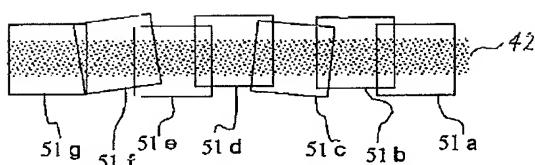
【図3】

図3



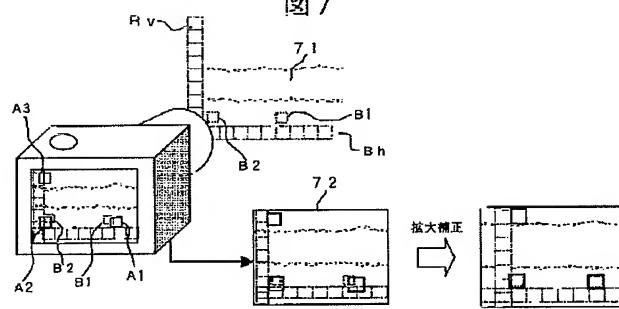
【図5】

図5



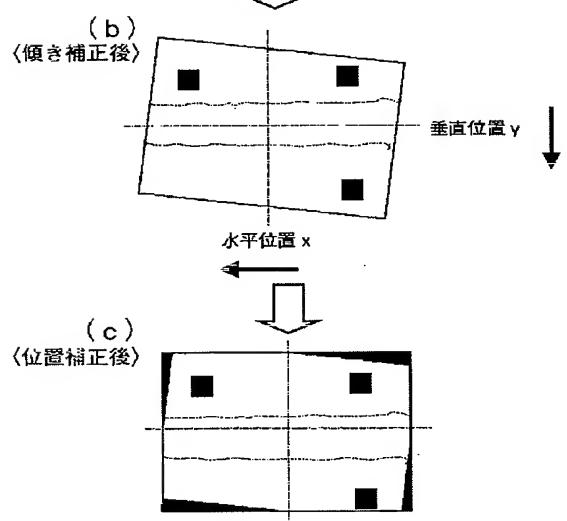
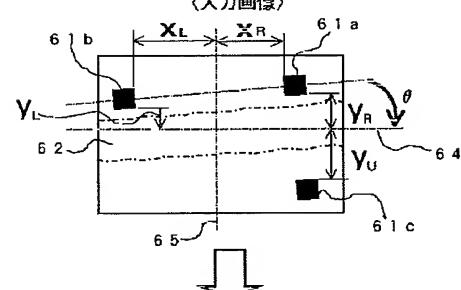
【図7】

図7

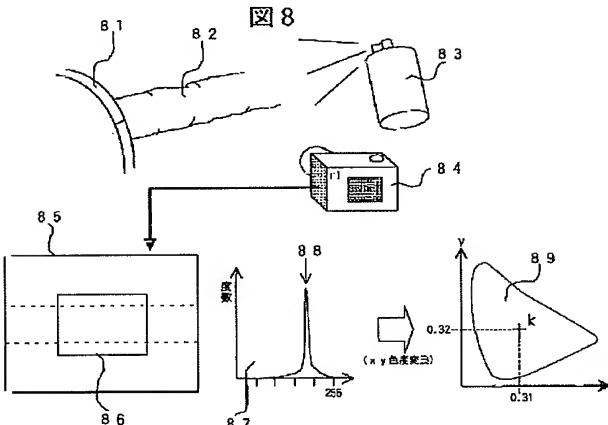


【図6】

図6 (a)

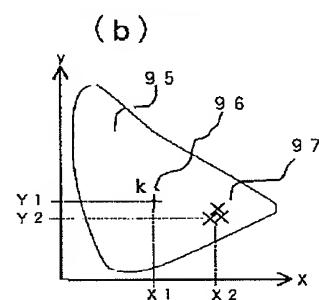
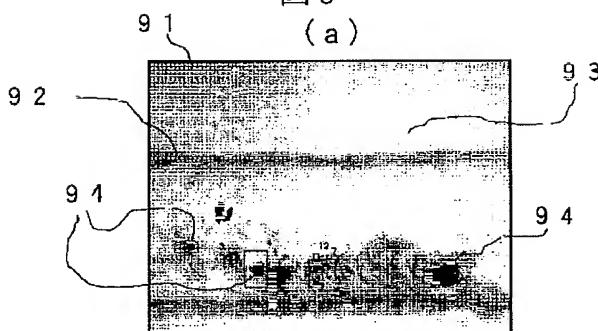


【図8】



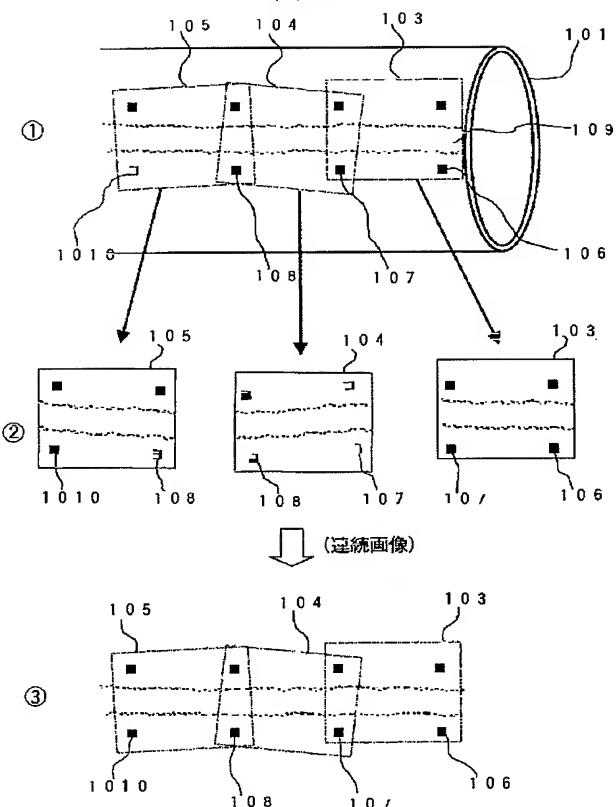
(202)02-236100 (P2002-236100A)

【図9】

図9  
(a)

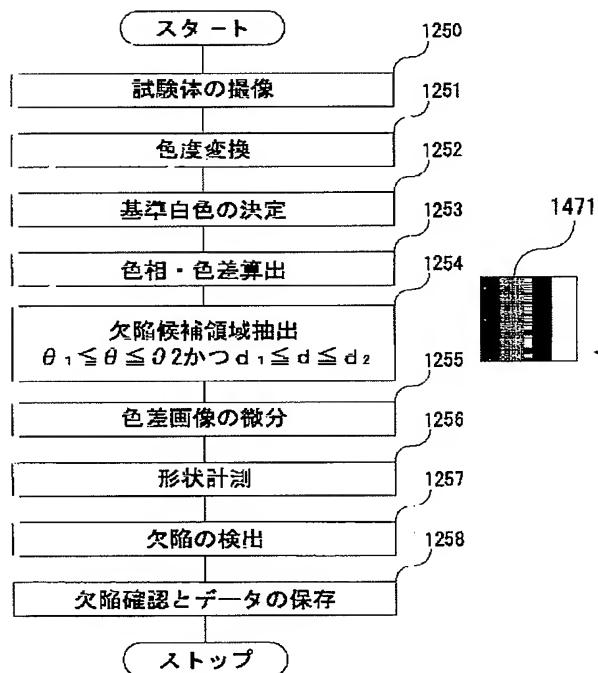
【図10】

図10



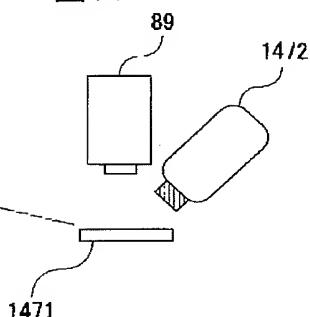
【図12】

図12



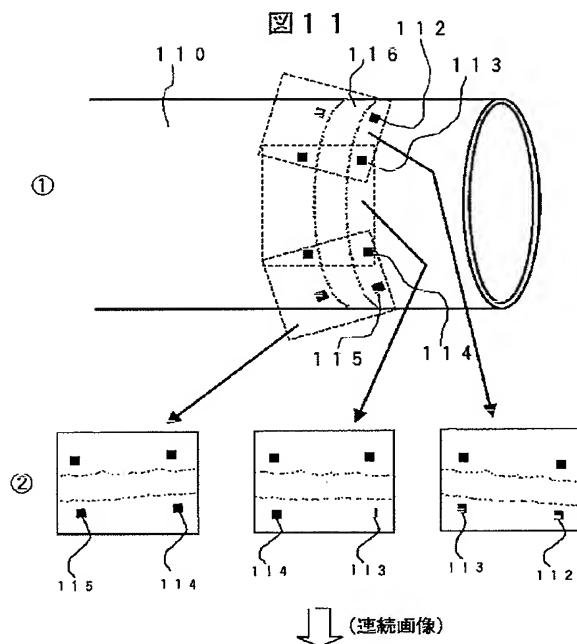
【図14】

図14



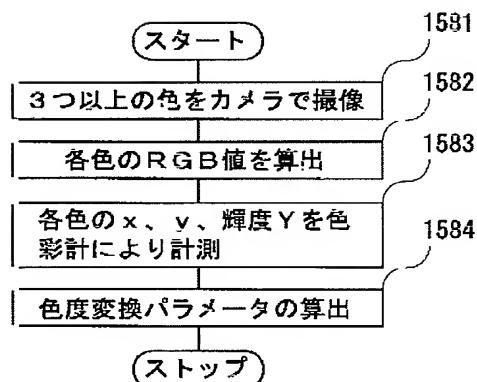
(13) 02-236100 (P2002-236100A)

【図11】



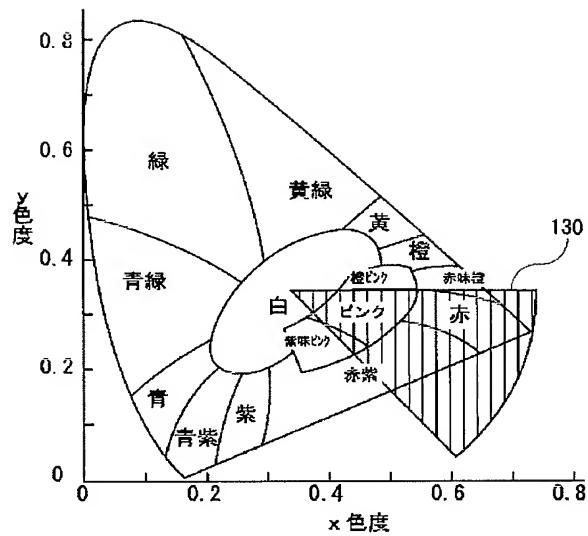
【図15】

図15



【図13】

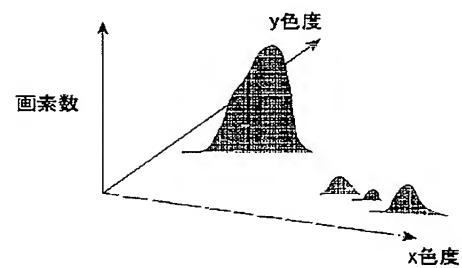
図13



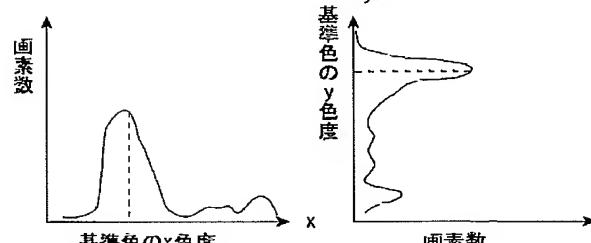
【図16】

図16

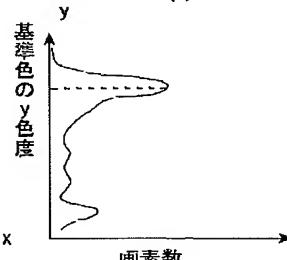
(a)



(b)



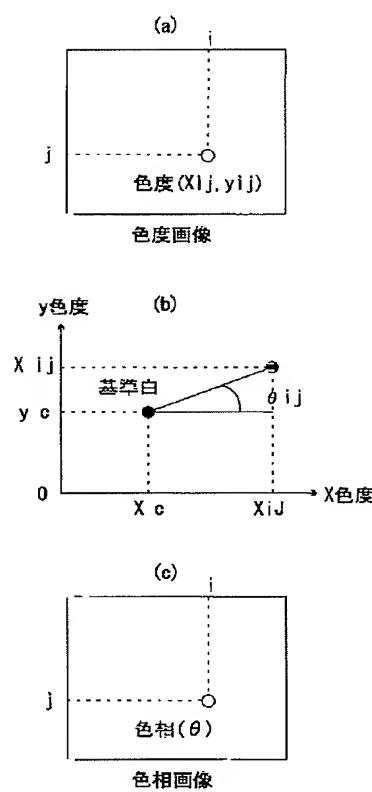
(c)



(単4) 02-236100 (P2002-236100A)

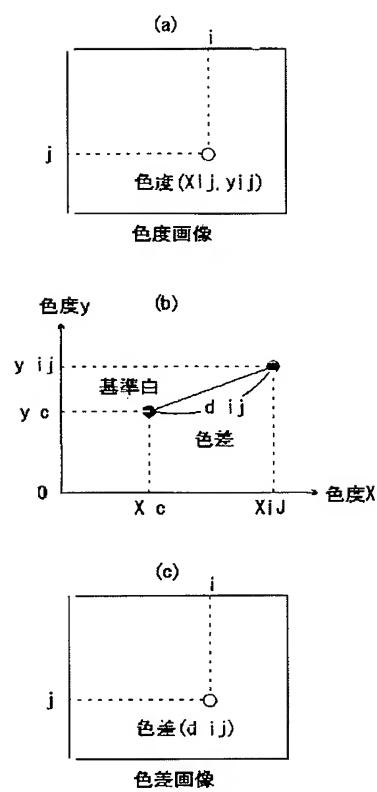
【図17】

図17



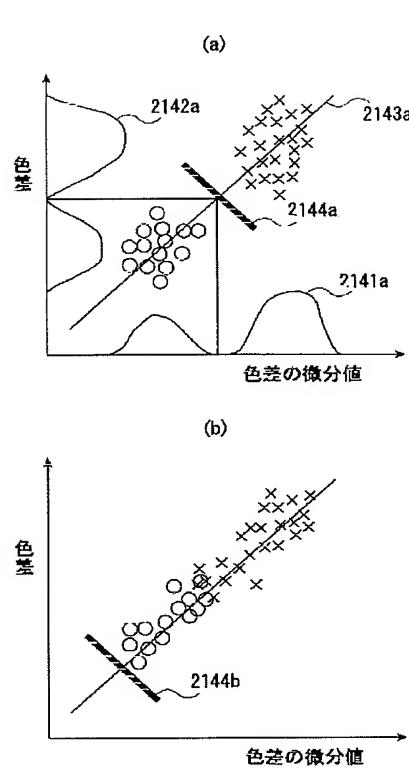
【図18】

図18



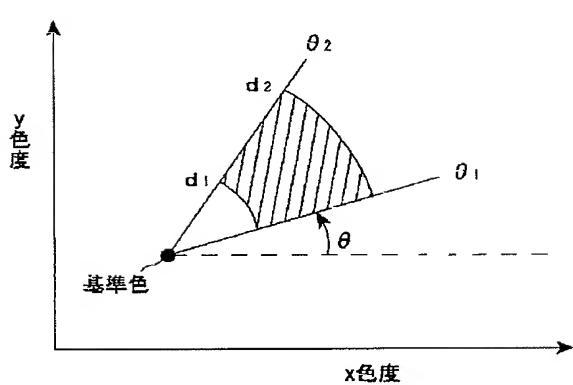
【図21】

図21



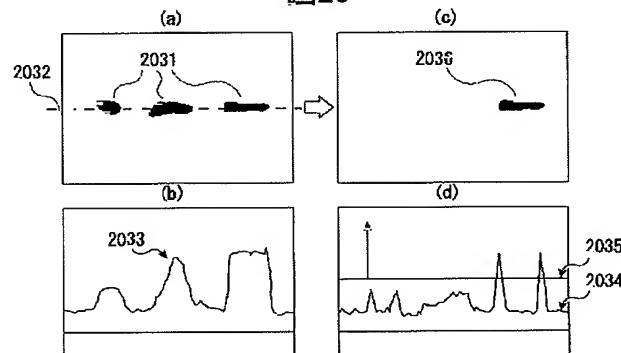
【図19】

図19



【図20】

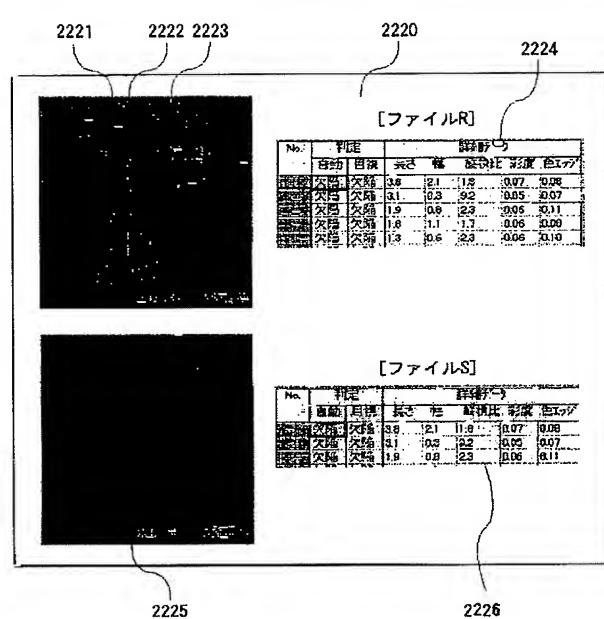
図20



(図5) 02-236100 (P2002-236100A)

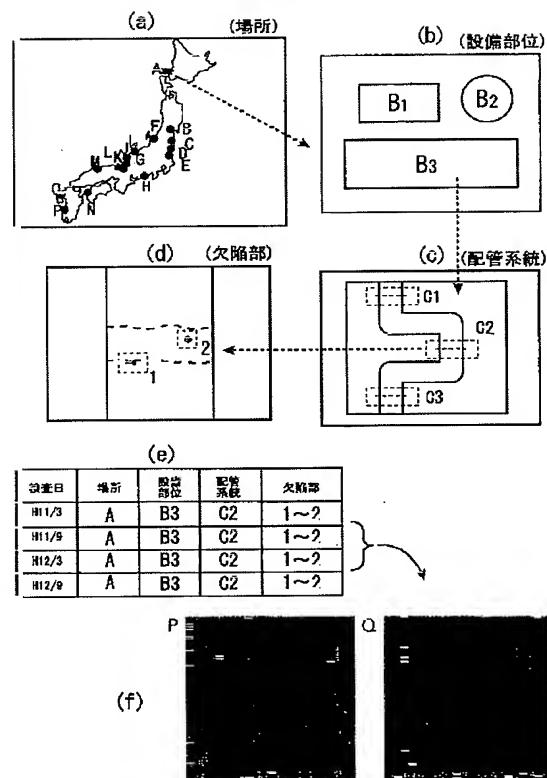
【図22】

図22



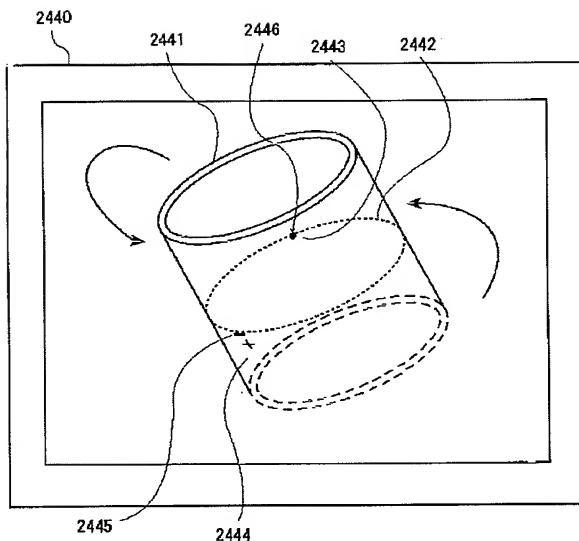
【図23】

図23



【図24】

図24



(16) 102-236100 (P2002-236100A)

フロントページの続き

(72)発明者 田口 哲夫  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地  
株式会社日立製作所原子力事業部内  
(72)発明者 堀田 昌央  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地  
株式会社日立製作所原子力事業部内

(72)発明者 田中 勲夫  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地  
株式会社日立製作所原子力事業部内  
Fターム(参考) 2G020 DA02 DA03 DA13 DA34 DA66  
2G051 GB01 GB04 GC04 GC17 GD02  
GD03